

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-261837

(43)Date of publication of application : 29.09.1998

(51)Int.Cl. H01S 3/18

(21)Application number : 09-085974

(71)Applicant : CANON INC

(22)Date of filing : 20.03.1997

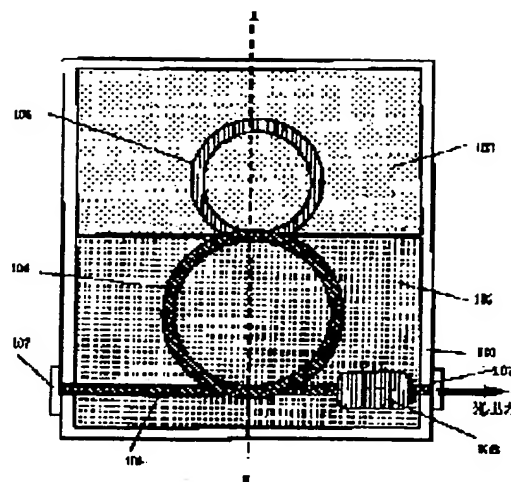
(72)Inventor : UCHIDA MAMORU

**(54) POLARIZATION-MODULATABLE SEMICONDUCTOR LASER HAVING RING RESONATOR, METHOD FOR USING IT, AND OPTICAL COMMUNICATION SYSTEM USING IT**

(57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To obtain a polarization-modulatable composite resonator type semiconductor laser which can be manufactured relatively easily, can be operated stably, and is provided with at least one ring resonator.

**SOLUTION:** A semiconductor device is composed of a composite type semiconductor laser provided with first and second semiconductor lasers 104 and 105 and an output optical waveguide 106. The first laser 104 has a first active area which gives a dominant gain to a first polarization mode and a first ring resonator and the second laser 105 has a second active area which gives a dominant gain to a second polarization mode. Both resonators 104 and 105 are optically coupled with each other by sharing parts of the resonators 104 and 105. The second laser 105 is composed of a second resonator, distributed feedback resonator (DFB), etc.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-261837

(43) 公開日 平成10年(1998) 9月29日

(51) Int.Cl.<sup>8</sup>

H 0 1 S 3/18

識別記号

F I

H 0 1 S 3/18

審査請求 未請求 請求項の数17 F D (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願平9-85974

(22) 出願日 平成9年(1997) 3月20日

(71) 出願人 000001007

キヤノン株式会社

東京都大田区下丸子3丁目30番2号

(72) 発明者 内田 護

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ  
ノン株式会社内

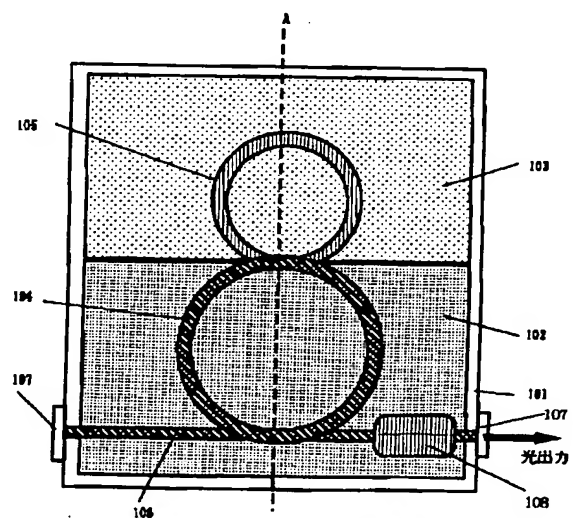
(74) 代理人 弁理士 加藤 一男

(54) 【発明の名称】 リング共振器を有する偏波変調可能な半導体レーザ、その使用方法及びこれを用いた光通信システム

(57) 【要約】

【課題】 作製が比較的容易で安定に動作する少なくとも1つのリング共振器を有する偏波変調可能な複合共振器型半導体レーザなどの半導体デバイスである。

【解決手段】 半導体デバイスは、第1および第2の半導体レーザ104、105と出力光導波路106とを有する複合型半導体レーザであって、第1の半導体レーザ104は、第1の偏波モードに対して支配的な利得を与える第1の活性領域と第1のリング共振器を有し、第2の半導体レーザ105は、第2の偏波モードに対して支配的な利得を与える第2の活性領域を有する。両者の共振器104、105は一部を共有することにより光学的に結合している。第2の半導体レーザ105は第2のリング共振器、分布帰還型共振器 (D F B) などである。



- 101 基板
- 102 第1の領域
- 103 第2の領域
- 104 第1のリングレーザ
- 105 第2のリングレーザ
- 106 出力導波路
- 107 無反射コート
- 108 金属層膜

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】第1および第2の半導体レーザと出力光導波路とを有する複合型半導体レーザであって、該第1の半導体レーザは、第1の偏波モードに対して支配的な利得を与える第1の活性領域と第1のリング共振器を有し、該第2の半導体レーザは、第2の偏波モードに対して支配的な利得を与える第2の活性領域を有し、両者の共振器は一部を共有することにより光学的に結合してなることを特徴とする半導体レーザ。

【請求項2】前記第2の半導体レーザは第2のリング共振器を有することを特徴とする請求項1記載の半導体レーザ。

【請求項3】前記第1と第2のリング共振器は共振器長が異なることを特徴とする請求項2記載の半導体レーザ。

【請求項4】前記第1と第2のリング共振器は幅が異なることを特徴とする請求項2記載の半導体レーザ。

【請求項5】前記第2の半導体レーザは分布帰還型共振器（DFB）を有することを特徴とする請求項1記載の半導体レーザ。

【請求項6】前記第2の半導体レーザの分布帰還型共振器（DFB）は前記第1の半導体レーザの第1のリング共振器中に形成されていることを特徴とする請求項5記載の半導体レーザ。

【請求項7】前記第1の活性領域と第2の活性領域の一方が引っ張り歪みを導入した量子井戸活性層からなり、前記第1の活性領域と第2の活性領域の他方が無歪みあるいは圧縮歪みを導入した量子井戸活性層からなることを特徴とする請求項1乃至6の何れかに記載の半導体レーザ。

【請求項8】前記第1および第2の活性領域が同一の構造の活性層からなり、その構造が無歪みあるいは圧縮歪みを有する第1の量子井戸層および引っ張り歪みを有する第2量子井戸層からなる非対称量子井戸構造からなることを特徴とする請求項1乃至6の何れかに記載の半導体レーザ。

【請求項9】前記第1および第2の半導体レーザと出力光導波路は同一平面上に形成されていることを特徴とする請求項1乃至8の何れかに記載の半導体レーザ。

【請求項10】前記第1および第2の半導体レーザと出力光導波路は層厚方向に多重して形成されていることを特徴とする請求項1乃至8の何れかに記載の半導体レーザ。

【請求項11】前記第1の活性領域および第2の活性領域に独立にキャリアを注入する手段を有することを特徴とする請求項1乃至10の何れかに記載の半導体レーザ。

【請求項12】前記出力光導波路の端面に無反射コートが形成されていることを特徴とする請求項1乃至11の何れかに記載の半導体レーザ。

【請求項13】前記出力光導波路に、1つの偏光成分のみを選択する偏光選択手段が形成されていることを特徴とする請求項1乃至12の何れかに記載の半導体レーザ。

【請求項14】請求項1乃至13の何れかに記載の半導体レーザの駆動方法において、独立にキャリアを注入されている前記第1の活性領域と第2の活性領域のうち少なくとも一方に変調電流を重畳して前記出力光導波路に出力される光の偏波変調あるいは偏波スイッチを行うことを特徴とする半導体レーザの駆動方法。

【請求項15】請求項14に記載の半導体レーザの駆動方法で偏波スイッチングによる変調を行ない、偏光選択手段によっていずれか一方の偏波モードのみを取り出して信号検波することを特徴とする光通信方法。

【請求項16】請求項13に記載の半導体レーザから成り、該半導体レーザの偏波スイッチングによる変調を行なって一方の偏波モードのみ取り出すことを特徴とする光通信用光源装置。

【請求項17】請求項16に記載の光源装置からの光を、1本の光伝送路に複数接続して複数の波長の光に信号をのせてそれぞれ伝送させ、受信装置において波長可変光バンドパスフィルタを通して所望の波長の光にのせた信号のみを取り出して信号検波する様に、波長分割多重伝送することを特徴とする光通信方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光通信、光情報処理などに用いられるリング共振器を有する偏波変調可能な複合共振器型半導体レーザなどの半導体デバイス、その使用方法及びこれを用いた光通信システム等に関する。

## 【0002】

【従来の技術】レーザ光の偏波面を信号に応じてスイッチングさせる偏波変調レーザは、通常強度変調レーザに比べ、変調の際にも、共振器内の光密度とキャリア密度をほとんど一定にすることが可能なため、チャープニングが小さくでき、変調速度や伝送距離を向上させることができる。偏波変調レーザについては、たとえば、特開昭62-42593号公報、特開昭62-144426号公報、特開平7-162088号公報などに開示されている。この骨子は以下のようなものである。

【0003】多電極を有する分布帰還型半導体レーザにおいて、TEモードとTMモードで同時発振するよう、利得スペクトルとブラッグ波長を制御したうえで、多電極へ不均一に電流を注入する。その値をバイアス点として小さな信号電流を重畳することによってTEモードとTMモードのしきい値利得の大小関係をスイッチして出力光の偏波状態を変化させ、このうち偏光子によって特定方向に偏波した光のみを取り出し、伝送路へ送出するものである。

## 【0004】

【発明の解決しようとする課題】しかし、この従来例はいくつかの欠点を有している。第1に、TEモードとTMモードのしきい利得を制御するのが困難であることが挙げられる。従来例ではTEおよびTMともにDFBモードであるため、ブラッグ波長の設定と利得プロファイルの位置関係（いわゆるデチューニング）に極めて高精度な調整が要求されていた。第2に、端面位相の影響で安定に動作できる範囲が狭いことが挙げられる。DFBレーザでは端面反射による位相変化の影響が大きくしかもそれに偏波依存性があるために、光出力、発振波長などの範囲に制限があった。このように、従来の偏波変調レーザでは、利得、光閉じ込め係数および反射率に強い偏波依存性があるため発振条件を満たすには多くのパラメータを制御する必要があり、高度な設計技術とプロセス技術を必要としていた。

【0005】従って、本発明の目的は、作製が比較的容易で安定に動作する少なくとも1つのリング共振器を有する偏波変調可能な複合共振器型半導体レーザなどの半導体デバイス、その使用方法及びこれを用いた光通信システム等を提供することにある。

## 【0006】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成する本発明の半導体レーザは、第1および第2の半導体レーザと出力光導波路とを有する複合型半導体レーザであって、該第1の半導体レーザは、第1の偏波モードに対して支配的な利得を与える第1の活性領域と第1のリング共振器を有し、該第2の半導体レーザは、第2の偏波モードに対して支配的な利得を与える第2の活性領域を有し、両者の共振器は一部を共有することにより光学的に結合してなることを特徴とする。具体的には、前記第2の半導体レーザは第2のリング共振器、分布帰還型共振器(DFB)などである。

【0007】第1および第2の半導体レーザともにリング共振器である場合の作用例は以下の通りである。リング共振器を2重に結合したダブルリングレーザ構造とすることで、それぞれの固有モードが一致したときのみ共振するため、発振モードを安定化することができる。また、それぞれの共振器の偏波モードに対するしきい利得特性を制御することで、たとえば、第1の領域ではTEモード、第2の領域ではTMモードとすることができる。両者が同時発振可能な状態のもとで、第1の領域あるいは第2の領域あるいは両方に変調電流を重畳することで、偏波スイッチングを行うことができる。一方をファブリペロ共振器にした場合も本質的に同じである。

【0008】第1および第2の半導体レーザが夫々リング共振器とDFBレーザである場合の作用例は以下の通りである。リング共振器とDFBを複合共振器とすることで、たとえば、TEモードをリング共振器モード、TMモードをDFBモードとすることができる。リング共

振器長が十分長ければ、その軸モード間隔はDFBレーザのストップバンドより十分狭くなり、DFBレーザのしきい利得に合わせて、リングレーザのしきい利得を調整しやすくなる。通常のDFB構造の偏波変調レーザでは、TEおよびTMのしきい利得を拮抗させることはきわめて困難であった。この例では、リング共振器とDFBが結合した複合共振器レーザ構造とすることで、それぞれの固有モードが一致したときのみ共振するため、発振モードを安定化することができる。また、両者が同時発振可能な状態のもとで、第1の領域あるいは第2の領域あるいは両方に変調電流を重畳することで、偏波スイッチングを行うことができる。DFB共振器をDBR共振器にした場合も本質的に同じである。

## 【0009】

## 【発明の実施の形態】

（第1実施例）図1は本発明の第1の実施例を説明する平面模式図である。図1において、101は半導体基板、102は第1の半導体レーザ領域、103は第2の半導体レーザ領域である。104は第1のリング共振器、105は第2のリング共振器、106は出力導波路、107は出力導波路106の両側に設けられ不必要な共振器が形成されない様にする為の無反射コート、108は金属薄膜である。以下、作製方法を述べつつ構成を説明する。図2は製作工程を説明する断面模式図である。本実施例は1.5 $\mu\text{m}$ 帯の複合共振器型半導体レーザとして設計した。

【0010】まず、n型InP基板101上全面に、第1の半導体レーザ領域102に相当する以下の半導体層をMOCVD法等でエピタキシャル成長する。先ず、光ガイド層201であるn型InGaAsPを厚さ0.2 $\mu\text{m}$ 形成する。次に、アンドープ第1活性層202aであるInGaAs井戸層（厚さ10nm）とInGaAsP障壁層（エネルギーギャップ波長1.15 $\mu\text{m}$ 、厚さ10nm）の繰り返し数5からなる無歪みの多重量子井戸構造を形成する。第3に、p-InPクラッド層203（キャリア濃度 $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 、厚さ1.5 $\mu\text{m}$ ）を成長させる。第4に、p-InGaAsPキャップ層204（キャリア濃度 $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 、厚さ0.3 $\mu\text{m}$ ）を成長させる。

【0011】次に、第1の半導体レーザ領域102に相当する部分にSiO<sub>2</sub>膜等の熱に強い誘電体膜205を形成し、これをエッチングマスクとして、ウエットエッチング等を用いて、第2の半導体レーザ領域103に相当する部分の前記半導体層のうち、光ガイド層201以外の半導体層を選択的に除去する（図2(a)）。斜面となったエッチング面が現れる。このあと、前記誘電体膜205を今度は選択成長マスクとして用いて、前記光ガイド層201上に第2の半導体レーザ領域103にのみ以下の半導体層をMOCVD法等を用いてエピタキシャル成長する。

【0012】第1に、アンドープ第2活性層202bであるInGaAsP井戸層（エネルギーギャップ波長1.6 $\mu$ m、引っ張り歪み量0.7%、厚さ6nm）とInGaAsP障壁層（エネルギーギャップ波長1.15 $\mu$ m、歪みなし、厚さ10nm）の繰り返し数7からなる多重量子井戸構造を積層する。第2に、n-InPクラッド層203（キャリア濃度 $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 、厚さ1.5 $\mu$ m）を形成する。第3に、p-InGaAsPキャップ層204（キャリア濃度 $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 、厚さ0.3 $\mu$ m）を形成する。

【0013】このとき第1の半導体レーザ領域102と第2の半導体レーザ領域103が平坦化されるよう注意する。段差が生じた場合には、エッチング等で平坦化してもよい。この際、斜面のエッチング面であるので、ここに隙間なく積層され易く第1のリング共振器104と第2のリング共振器105のカップリングがうまく行なわれるようになる。

【0014】次に、誘電体膜205を除去したあと、リッジ型の導波路をリング状に図1のように形成する。本実施例では、リッジの深さは、活性層202の直上に達するまで約1.5 $\mu$ mとし、リング共振器の直径は第1のリングレーザ104では2.0mm、第2のリングレーザ105では1.8mmとした。リッジ幅は両リングレーザとも2.0 $\mu$ mとした。両者の結合部分は、幅3.0 $\mu$ m、長さ100 $\mu$ mにわたって共通になるように設定した。図3は図1におけるA-B間の断面を示す断面模式図である。結合部分の幅は両リングレーザの幅より大きくしたがほぼ同じでもよい。

【0015】第1の半導体レーザ領域102と第2の半導体レーザ領域103に別々に両リングレーザ104、105に沿って正電極301、302を、基板101裏面に共通の負電極304を形成した。正電極301、302は電氣的に分離されているが、合流部分にはそのどちらか一方の正電極にのみ連続的に電極303が設けられている。この場合、他の正電極は合流部分では欠けている。両方の正電極301、302が合流部分でも設けられて夫々の正電極がリング状になっていてもよい。勿論、両方の正電極301、302は合流部分で電氣的に分離されている。

【0016】さらに、第1のリングレーザ104に対して接線的に伸びた出力導波路106の一部を、金属装荷したストリップ光導波路とする。この部分の断面を図4に示した。TM成分だけが損失となるよう、上部クラッド層203を薄くしてある。この結果、特別な偏光子を用いなくとも、TE成分だけをネットワーク等に送出できる。このように他の光デバイスとの集積化が容易な点も本発明の特徴である。なお、この金属薄膜108は前記正電極形成時に同時に同材料、たとえばTi/Pt/Auで作製してもよい。出力導波路106にも正電極402が設けられていて、損失を防止する様になってい

る。

【0017】次に、本実施例の動作原理について説明する。リング共振器を有する半導体レーザの発振条件は以下のように表せる。

$$M \cdot \lambda / n = L$$

ここで $\lambda$ は真空中の波長、 $n$ はリング共振器を形成する光導波路の実効屈折率、 $L$ はリング導波路の共振器長（円周の長さ）、 $M$ は整数である。これより、発振モード間隔 $\Delta\lambda$ は

$$\Delta\lambda = \lambda^2 / nL$$

となるから、本実施例の第1のリングレーザ104の場合、 $\lambda = 1.5 \mu\text{m}$ 、 $n = 3.4$ 、 $L = 2 \text{mm}$ なので、第1活性層202aによる利得が十分広いスペクトルを持っていれば0.05nm程度の間隔で軸モードが立つことになる。第1のリングレーザ104では、歪みのない量子井戸構造の第1活性層202aを用いているので、TEモードの利得が常にTMモードの利得を上回る。したがって、TEモードのみが $\Delta\lambda^{\text{TE}}_1 = (\lambda^{\text{TE}}_1)^2 / n^{\text{TE}}_1 L_1$ の間隔で発振モードとして存在し得る。

【0018】一方、第2のリングレーザ105では、引っ張り歪み量子井戸構造の第2活性層202bを用いているので、TMモードの利得が常にTEモードの利得を上回る。よって、TMモードのみが $\Delta\lambda^{\text{TM}}_2 = (\lambda^{\text{TM}}_2)^2 / n^{\text{TM}}_2 L_2$ の間隔で発振モードとして存在し得る。

【0019】したがって、上記2個のリングレーザ104、105が完全に独立な場合には上記異なる波長、異なる偏波で発振することになる。しかし、本実施例のように、結合領域を設けて複合共振器として動作させると、動作させたときには波長選択性が現れる。すなわち、それぞれの偏波について

$n^{\text{p}}_1 L_1 / M^{\text{p}}_1 = n^{\text{p}}_2 L_2 / M^{\text{p}}_2$ （ $p = \text{TE}$ または $\text{TM}$ ）が成り立つように、波長選択が行われる（夫々のリングレーザ104、105において発振モードとして存在し得るモードでない方のモードの利得も多少は存在するのでこの様な波長選択条件式で波長選択が行われる）。リングレーザ104、105利得スペクトルの半値幅は、モード間隔にくらべ2桁以上大きいので、両者の利得ピークがほぼ一致していれば、共振モードがかならず存在することになる。

【0020】次に偏波スイッチングについて説明する。TEモードとTMモードのしきい利得は、それぞれ第1の半導体レーザ領域102と第2の半導体レーザ領域103に独立に注入されるキャリア密度によって制御できる。本発明の複合リング共振器レーザを1つのレーザとしてみると、その複合リング共振器レーザ内で注入キャリア分布を変化させることでTEモードとTMモードとの間で発振モードを変調する偏波変調レーザとして動作させることができる。具体的には、第1および第2のリング共振器104、105に独立にキャリアを注入し、TEモードおよびTMモードともしきい値付近にバイア

スしたあと、第1あるいは第2の共振器領域102、103の全部あるいは一部に微少な変調電流を重畳することで、偏波スイッチングを実現できる。

【0021】次に、偏波変調された信号のうち、一方の偏光成分だけを取り出す方法について述べる。このデバイスを通常の光ネットワーク上で送信機として用いる場合には、受信側ではどちらか一方の偏波のみを選択する必要がある。図4において、金属装荷したストリップ光導波路106はTM成分だけが減衰するよう、上部クラッド層203を薄くかつ金属装荷膜108の長さを設定してあるので、特別な偏光子を用いなくとも、TE成分だけをネットワークに送出できる。

【0022】また、本実施例ではリッジ型導波路を用いたが、この場合は光の断面分布がキャリア注入分布で変化するので実効屈折率がキャリア注入分布に依存する場合がある。このとき、リッジ導波路の代わりに埋め込み型の光導波路を用いることで、導波路での光の断面分布が変化しなくなるので実効屈折率を安定化することができる。

【0023】(第2実施例) 第1実施例では異なるモード間隔を得るためにリング長を変えたが、リング長は変えずに、実効屈折率を変えてもよい。たとえば、第2のリング共振器のリッジ幅を第1のリング共振器のリッジ幅より大きくすれば、実効屈折率を大きくできるので軸モード間隔を小さくでき、実効的にリング長を長くしたのと同等の効果が得られる。この場合の利点は、リング長を小さくできるため、第1の実施例にくらべ、素子を小型化できることである。動作原理は第1実施例と同じである。

【0024】(第3実施例) 次に作製方法を簡便化した偏波変調可能なリング共振器レーザについて述べる。この実施例の設計指針は以下の通りである。

(1) 作製方法を簡便にするために、第1の半導体レーザ領域と第2の半導体レーザ領域の活性層を同一構造として一回成長で形成する。

(2) 活性層を非対称量子井戸構造とし、キャリア注入レベルで各レーザ領域の利得の偏波依存性を制御する。

(3) しきい利得をリング共振器長で制御する。

【0025】図5は本実施例で用いた非対称量子井戸構造のバンド図である。501は第1井戸層でp型InGaAs(厚さ10nm、井戸数1)、502は第2井戸層でp型引張り歪みInGaAsP(波長1.6μm、引張り歪み量0.5%、厚さ6nm、井戸数2)、503は障壁層でアンドープInGaAsP(厚さ10nm)であり、非対称量子井戸構造はこれらで構成されている。各井戸層をp型にしてあるのは、ホール注入を効果的に行うためである。井戸数が第2量子井戸502の方が多いのは、高注入時にTM利得をTE利得より大きくするためである。

【0026】非対称量子井戸活性層は、注入レベルによ

り利得の偏波特性が変化する。たとえば、本実施例の場合、低注入領域では、無歪量子井戸501にキャリアが溜り易いので、TEモードに対して利得が大きくなる。一方、高注入領域では、引張り歪み量子井戸502にもキャリアが注入され、かつそのキャリア量は(井戸体積が大きいので)無歪量子井戸501よりも大きくなるので、TMモードの利得がTEモードの利得を上回る。

【0027】したがって、低注入領域では、しきい利得が小さくなるように損失を小さくすれば、たとえば、リング長を長くすれば常にTEモードで発振する。他方、高注入領域では、しきい利得が高くなるように損失を大きくすれば、たとえば、リング長を短くすることで常にTMモードで発振する。このように、第1のリングレーザと第2のリングレーザのリング長を変えることで、偏波モードと軸モード(軸モードとリング長の関係は第1実施例で述べた)を同時に制御することができる点が本実施例の大きな特徴である。

【0028】本実施例の場合、第1のリングレーザのリング長を2.0mm、第2のリングレーザのリング長を1.5mmとすることで、第1のリングレーザはTEモードで発振させ、第2のリングレーザではTMモードで発振させることが出来た。あとの方法は、第1の実施例と全く同じである。

【0029】本実施例特有の効果は、両リングレーザ領域の活性層が共通であるので偏波変調可能な複合共振器型リングレーザを簡便に作製できることである。

【0030】(第4実施例) 第1実施例では、2つのリング共振器および出力導波路を同一平面上に形成した例を示したが、レイアウトはこれに限るものではない。たとえば、三者を層厚方向に多重して形成してもよい。図6(a)はその平面図、図6(b)はその断面図である。図1と同じ要素は図1と同じ符号で示している。

【0031】基板101内に図6(a)で示す直線状パターンの透明な出力導波路106を作り付けた上に、先ず第1のスペーサ層601を形成し、その上に第1のリングレーザ104の活性層を図6(a)で示すリング状パターンで形成し(リング状パターンの活性層の内部は以下の層の形成に必要な部分さえ層が存在すればよい)、その上に第2のスペーサ層602を形成し、更にその上に第2のリングレーザ105の活性層を図6

(a)で示すリング状パターンで形成する。各層の導電型や電極の形成は、各リングレーザ104、105の活性層に独立に電流を注入できる様に設定すればよい。動作原理は第1実施例と同じである。

【0032】この場合の効果は、(1)素子面積がほぼ半分で済む、(2)導波路の結合係数を結晶成長(スペーサ層601、602の層厚など)で制御できるため、通常のプロセス(例えば、フォトリソグラフィとエッチングの組み合わせ)より精度が高い、ことなどである。

【0033】(第5実施例) 図7は本発明の第5の実施

例を説明する模式図である。本実施例は、上記の実施例と異なって、リング共振器とDFBを複合した形態を有している。図7において、701は半導体基板、702は第1のリング共振器を有する半導体レーザ、703はDFB半導体レーザである。また、704は金属薄膜、705は無反射コート、706は光ファイバである。以下、作製方法を述べつつ構造を説明する。図8は製作工程を説明する断面模式図であり、図7中の両レーザの結合部分の断面図である。第1実施例と同様、本実施例も1.5 $\mu$ m帯の半導体レーザとして設計した。

【0034】まず、n型InP基板701上のDFBレーザに相当する部分に図7の左右方向に沿ってグレーティング806を形成する。本実施例では、二光束干渉露光法とドライエッチングを用いて、ピッチ240nm、深さ100nmのグレーティングを作製した。

【0035】次に、基板701全面にDFBレーザに相当する以下の半導体層をMOCVD法等でエピタキシャル成長する。まず、光ガイド層801であるn型InGaAsP（厚さ0.2 $\mu$ m）を積層する。第2に、アンダー第1活性層802aであるInGaAsP井戸層（エネルギーギャップ波長1.6 $\mu$ m、引っ張り歪み量0.7%、厚さ6nm）とInGaAsP障壁層（エネルギーギャップ波長1.15 $\mu$ m、歪みなし、厚さ10nm）の繰り返し数7からなる多重量子井戸構造を積層する。第3に、p-InPクラッド層803（キャリア濃度 $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 、厚さ1.5 $\mu$ m）を成長させる。第4に、p-InGaAsPキャップ層804（キャリア濃度 $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 、厚さ0.3 $\mu$ m）を形成する。

【0036】次に、DFBレーザ703に相当する部分にSiO<sub>2</sub>膜等の誘電体膜805を形成し、これをエッチングマスクとして、ウェットエッチング等を用いてリングレーザ702に相当する部分の前記半導体層のうち、光ガイド層801以外の半導体層を選択的に除去する（図8（a））。このあと、前記誘電体膜805を今度は選択成長マスクとして用いて、前記光ガイド層801上にリングレーザ702に相当する部分にのみ以下の半導体層をMOCVD法等を用いてエピタキシャル成長する（図8（b））。

【0037】まず、アンダー第2活性層802bであるInGaAs井戸層（厚さ10nm）とInGaAsP障壁層（エネルギーギャップ波長1.15 $\mu$ m、厚さ10nm）の繰り返し数5からなる無歪みの多重量子井戸構造を形成する。第2に、n-InPクラッド層803（キャリア濃度 $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 、厚さ1.5 $\mu$ m）を成長させる。第3に、p-InGaAsPキャップ層804（キャリア濃度 $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 、厚さ0.3 $\mu$ m）を形成する。

【0038】上記実施例と同様に、このときDFBレーザ領域703とリングレーザ領域702が平坦化される

ように注意する。段差が生じた場合には、エッチング等で平坦化してもよい。

【0039】誘電体膜805を除去したあと、リッジ型の光導波路をDFBレーザ領域703ではストライプ状に、リングレーザ領域702ではリング状に図7のように形成する。本実施例では、リッジの深さは、活性層802の直上に達するまで約1.5 $\mu$ mとし、リング共振器702の直径は2.0mmとした。リッジ幅は両レーザとも2.0 $\mu$ mとした。両者の結合部分は、幅3.0 $\mu$ m、長さ300 $\mu$ mにわたって共通になるように設定した。

【0040】図9は図7におけるA-B間の断面を示す断面模式図である。リングレーザ領域702およびDFBレーザ領域703に別々に正電極901、902を、基板701裏面に共通の負電極904を形成した。合流部はそのどちらか一方にのみ電極が設けられている。結合部分の電極の設け方は第1実施例と同じである。さらに、DFBレーザ703の一部を金属装荷したストリップ型光出力導波路とした。この部分の断面を図10に示した。TM成分だけが損失となるよう、上部クラッド層803を薄くしてある。この結果、特別な偏光子を用いなくとも、TE成分だけをネットワークに送出できる。この金属薄膜704は前記正電極形成時に同時に同材料、たとえばTi/Pt/Auで作製してもよい。これらは上記実施例と同じである。

【0041】次に、本実施例の動作原理について説明する。リング共振器を有する半導体レーザ702の発振条件等は第1実施例で述べた通りである。

【0042】一方、DFBレーザ703では、引っ張り歪み量子井戸構造802aを用いているので、TMモードの利得が常にTEモードの利得を上回る。グレーティング806のピッチ $\Lambda$ で決まるブラッグ波長が利得ピーク波長近傍に設定されていれば、TMモードがブラッグ波長で存在し得る。したがって、上記2個の半導体レーザ702、703が完全に独立な場合には上記異なる波長、異なる偏波で発振することになる。しかし、本実施例のように、結合領域を設けて複合共振器として動作させると、動作させたときには複合共振効果により波長選択性が現れる。すなわち、それぞれの偏波について

$$n^p_1 L_1 / M^p_1 = 2 n^p_2 \Lambda_2 \quad (p = \text{TE または TM})$$

が成り立つように、波長選択が行われる（第1実施例の同様の説明を参照）。利得スペクトルの半値幅は、リングレーザモード間隔にくらべ2桁以上大きいので、両者の半導体レーザ702、703の利得ピークがほぼ一致していれば、共振モードがかならず存在することになる。したがって、従来のDFB構造の半導体レーザでは、TEおよびTMモード双方の利得とブラッグ波長との関係を調整する必要があったが、本実施例ではどちらか一方でよいとため、製作しやすくなる。また、端面反射も一つのレーザだけについて考慮すればよいので、安定



に動作しやすい。

【0043】偏波スイッチングについても基本的には第1実施例と同じである。すなわち、TEモードとTMモードのしきい利得はそれぞれリングレーザ領域702およびDFBレーザ領域703に独立に注入されるキャリア密度によって制御できる。本実施例の複合半導体レーザを1つのレーザとしてみると、注入キャリア分布を変化させることでTEモードとTMモードとの間で発振モードを変調する偏波変調レーザとして動作させることができる。具体的には、第1および第2の半導体レーザ702、703に独立にキャリアを注入し、TEモードおよびTMモードともしきい値付近にバイアスしたあと、第1あるいは第2の共振器領域の全部あるいは一部に微少な変調電流を重畳することで、偏波スイッチングを実現できる。

【0044】偏波変調された信号のうち、一方の偏光成分だけを取り出す方法についても、第1実施例で述べた通りである。

【0045】また、DFBレーザはDBRレーザやファブリペロレーザに置き換えることもできる。DBRレーザの場合（この場合活性層を設けない領域を作る必要がある）は動作原理は上記の原理と同じであるが、ファブリペロレーザの場合は、前述したダブルリングレーザの原理と同じである。但し、ファブリペロレーザの共振器長の調整はリングレーザ程自由度がない。

【0046】（第6実施例）次に作製方法を簡便化した偏波変調可能なリング共振器レーザについて述べる。この実施例は第3実施例の考え方を第5実施例に適用したものである。設計指針は第3実施例と同じであり、特に本実施例では、DFBレーザとリングレーザの活性層を同一構造として一回成長で製作するものである。2つのレーザ702、703の共振器長を変えることで、偏波モードと軸モードを同時に制御することも第3実施例と同じである。

【0047】本実施例の場合、リングレーザ702のリング長を2.0mm、DFBレーザ703の共振器長を0.5mmとすることで、リングレーザ702ではTEモードで、DFBレーザではTMモード703で発振させることが出来た。他の点は、第3の実施例と全く同じである。

【0048】（第7実施例）図11は第7の実施例を説明する平面模式図である。この実施例が第5の実施例と異なっているのは、（1）リング共振器1102中にDFBレーザ1103が構成されていること、（2）リング共振器1102の光が異なる偏波特性をもつ2つの活性領域を伝搬することである。

【0049】図11中、第1の領域はTMモードの利得が大きい領域、第2の領域はTEモードの利得が大きい領域、1102は両領域を光が伝搬するリング共振器、1103は第1の領域に形成されたDFBレーザであ

る。

【0050】層構成およびグレーティング構造、および導波路構造は、第5の実施例とほぼ同じで、第1の領域および第2の領域の層構成は第5の実施例と同様の構成にしてある。また、リング共振器1102の径は2.0mm、DFB領域1103は1.0mmとした。グレーティングの作製方法は、電子ビーム直接描画で形成した。グレーティングの条は全てリング共振器1102の中心に向かって伸びている。本実施例ではリングレーザ1102とDFBレーザ1103が光学的に100%結合しているので、動作電流が小さくて済む利点がある。

【0051】活性層に第6実施例の非対称量子井戸を用いることで作製方法をより簡便にすることができる。この場合、DFB領域1103とリング共振器1102のしきい利得を調整することで、TEモードとTMモード間でスイッチングが可能である。具体的には、DFB領域1103の結合係数（ $\kappa$ ）と共振器長（L）の積を制御すればよい。

【0052】（第8実施例）次に、本発明のデバイスを波長多重伝送（WDM）用光源に使う場合の適用例について述べる。ダブルリングレーザの実施例の場合、先に述べたように、リングレーザの共振器長を変化させることで軸モード間隔を変えることができる。したがって、複数の異なるダブルリングレーザを用意すれば、発振波長の異なる偏波変調レーザを得ることができる。

【0053】たとえば、リング共振器長が $L_i$ および $L_j$ のダブルリングレーザを（ $L_i$ 、 $L_j$ ）で表すことにすると、多重度Nの波長多重光源を得るには、

（ $L_1$ 、 $L_1(1-j \cdot \Delta L)$ （ここで $j=0 \sim N$ ）

として、第2のリングレーザの共振器長を少しずつ（ $\Delta L$ だけ）ずらしたものを並べればよい。もちろん第1のリングレーザの共振器長は $L_1$ に固定する必要はない。

【0054】リングレーザを1つだけ有する実施例の場合は、DFB或はDBRレーザに注入する電流量を制御して波長を変化させるのが現実的である。

【0055】この際、受信装置においては波長可変光バンドパスフィルタを通して所望の波長の光にのせた信号のみを取り出して信号検波して、波長分割多重伝送が実現される。

【0056】

【発明の効果】本発明の効果は以下の通りである。

（1）偏波変調レーザを容易に作製できる。（2）軸モード間隔を容易に制御できる。（3）他素子と集積化が容易である。（4）偏波変調可能領域が広く安定している。（5）多波長偏波変調レーザアレイが容易に実現できる（特に、ダブルリングレーザの場合）。

【図面の簡単な説明】

【図1】図1は本発明の第1の実施例の平面図である。

【図2】図2は第1の実施例の製作方法を説明する断面模式図である。



13

【図3】図3は第1の実施例の製作方法を説明する図1のA-B断面模式図である。

【図4】図4は第1の実施例の製作方法を説明する出力導波路部の断面模式図である。

【図5】図5は第3実施例の非対称量子井戸活性層のバンド図である。

【図6】図6は第4実施例の平面と断面を示す模式図である。

【図7】図7は本発明の第5の実施例の平面図である。

【図8】図8は第5の実施例の製作方法を説明する断面模式図である。

【図9】図9は第5の実施例の製作方法を説明する図7のA-B断面模式図である。

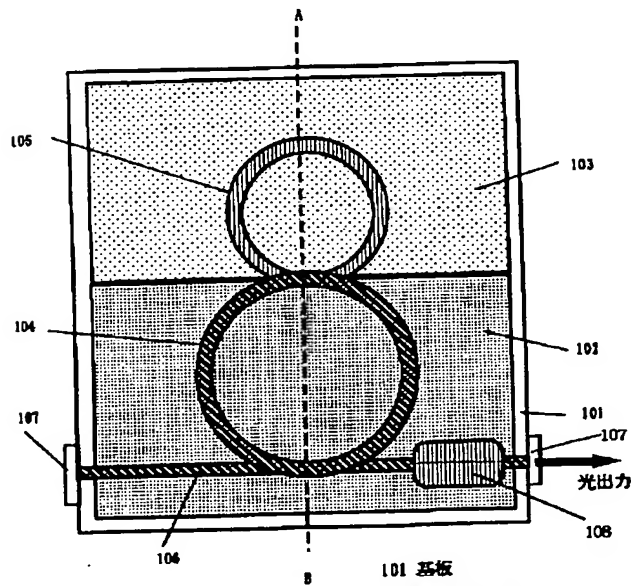
【図10】図10は第5の実施例の製作方法を説明するDFBレーザ部の断面模式図である。

【図11】図11は本発明の第7の実施例の平面図である。

【符号の説明】

101、701、1101 基板  
102 第1の領域  
103 第2の領域  
104 第1のリングレーザ  
105 第2のリングレーザ

【図1】

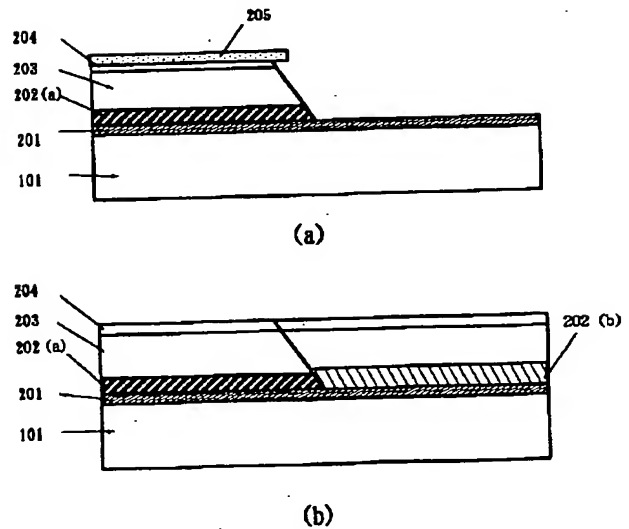


101 基板  
102 第1の領域  
103 第2の領域  
104 第1のリングレーザ  
105 第2のリングレーザ  
106 出力導波路  
107 無反射コート  
108 金属薄膜

14

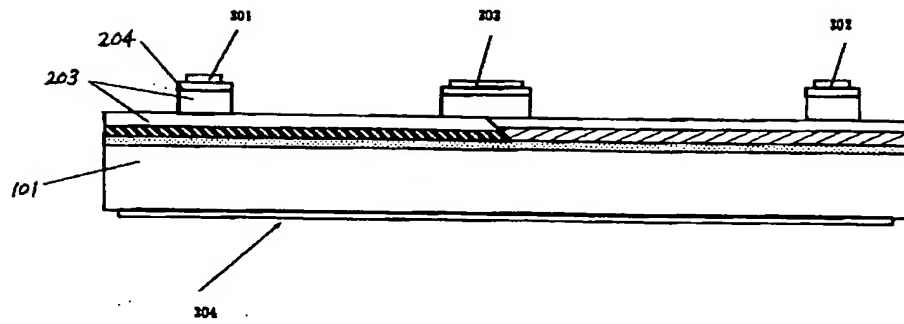
105 第2のリングレーザ  
106 出力導波路  
107、705、1105 無反射コート  
108、704、1104 金属薄膜  
201、801 光ガイド層  
202a、802a 第1活性層  
202b、802b 第2活性層  
203、803 クラッド層  
204、804 コンタクト層  
205、805 誘電体マスク  
301、302、303、402、901、902 正電極  
304、904 負電極  
501 第1井戸層  
502 第2井戸層  
503 障壁層  
601、602 スペーサ層  
702、1102 リングレーザ  
703、1103 DFBレーザ  
706 光ファイバ  
806 グレーティング

【図2】



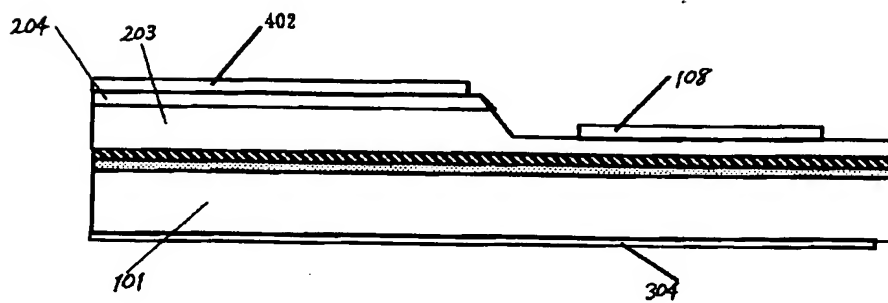
205 誘電体マスク  
204 p型コンタクト層  
203 p型クラッド層  
202a 第1活性層  
202b 第2活性層  
201 光ガイド層  
101 n型基板

【図3】



304 負電極

【図4】

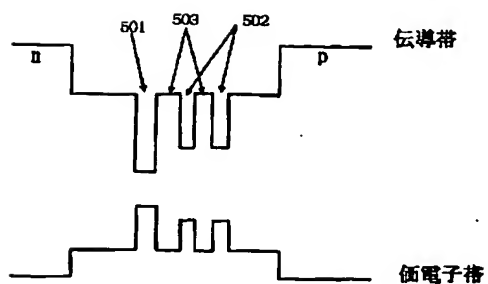


金属被荷膜 108

正電極 402

負電極 304

【図5】

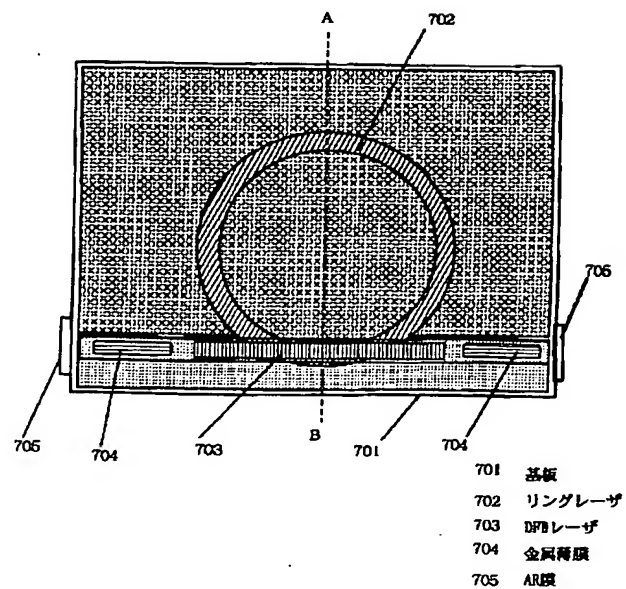


501 第1井戸層

502 第2井戸層

503 障壁層

【図7】



701 基板

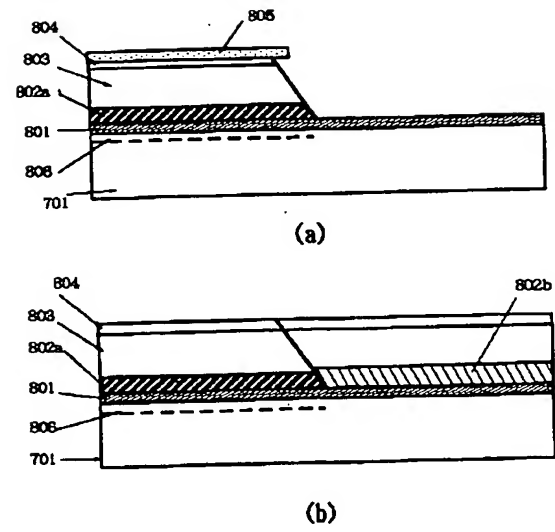
702 リングレーザ

703 DFBレーザ

704 金属薄膜

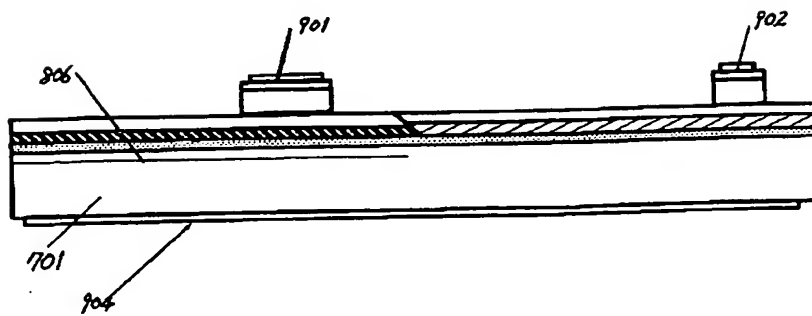
705 AR膜

【図 8】



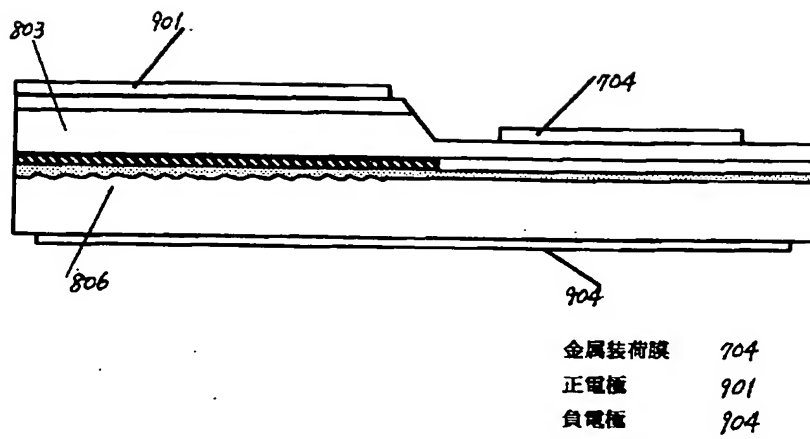
- |      |          |
|------|----------|
| 806  | グレーティング  |
| 805  | 誘電体マスク   |
| 804  | p型コンタクト層 |
| 803  | p型クラッド層  |
| 802a | 第1活性層    |
| 80b  | 第2活性層    |
| 801  | 光ガイド層    |
| 701  | n型基板     |

【図 9】

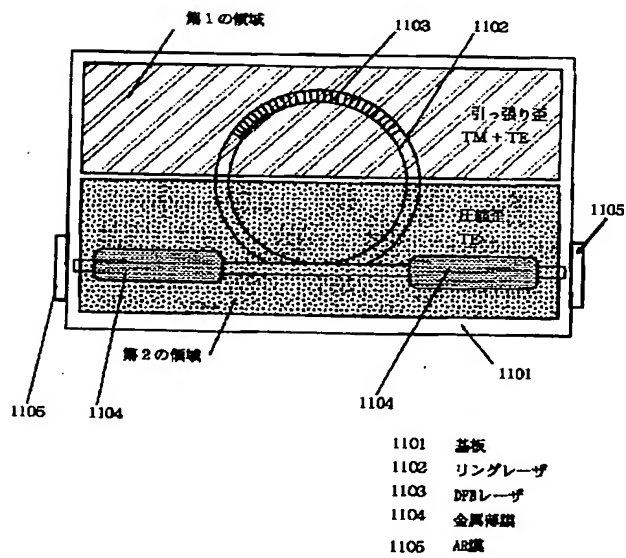


|         |     |
|---------|-----|
| グレーティング | 806 |
| 負電極     | 904 |

【図10】



【図11】



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☒ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**